

# Имплантация многозарядными ионами висмута поверхности молибдена

Фролова Валерия Петровна<sup>1,2</sup>

Николаев Алексей Геннадьевич<sup>1</sup>, Юшков Георгий Юрьевич<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт сильноточной электроники СО РАН

<sup>2</sup>Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

*Frolova Valeria 90@mail.ru*

Достоинством вакуумных дуговых источников является возможность генерации ионных пучков любого проводящего твердотельного материала. Поэтому они находят широкое применение для решения задач модификации поверхностей различных конструкционных материалов, эксплуатируемых в условиях интенсивных механических, температурных и радиационных нагрузок, например в двигателестроении, авиации, ядерной энергетике. В настоящей работе представлены исследования по имплантации поверхности молибдена пучками ускоренных ионов висмута с различными распределениями их зарядовых состояний, выполненные с использованием вакуумного дугового ионного источника Mevva-V.Ru [1] и сравнение профилей распределения висмута по глубине молибденового образца для этих распределений зарядностей.

Имплантация поверхности молибдена ионами висмута проводилась с использованием двух режимов функционирования вакуумного дугового разряда источника Mevva при одинаковых значениях ускоряющего ионы напряжения - 40 кВ и давления остаточного газа -  $3 \cdot 10^{-7}$  Торр. Доза имплантированных ионов в поверхность была в обоих случаях одинаковой и равна  $1 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>. Образцы для имплантации представляли собой прямоугольные пластины из молибдена размером 15x15 мм толщиной 1 мм.

Первый режим имплантации имел типичные для вакуумных дуговых источников ионов параметры разряда [2]: амплитуда тока дуги - 100 А при длительности импульса 250 мкс. При таких параметрах разряда в плазме и извлеченном пучке присутствовали только ионы висмута с зарядовым состоянием 1+ и 2+ [3], а интегральная средняя зарядность, учитывающая изменения зарядного состава ионов в течение импульса, составляла 1,27+. Таким образом, при используемом в эксперименте ускоряющем напряжении средняя энергия ионов висмута в пучке была около 50 кэВ.

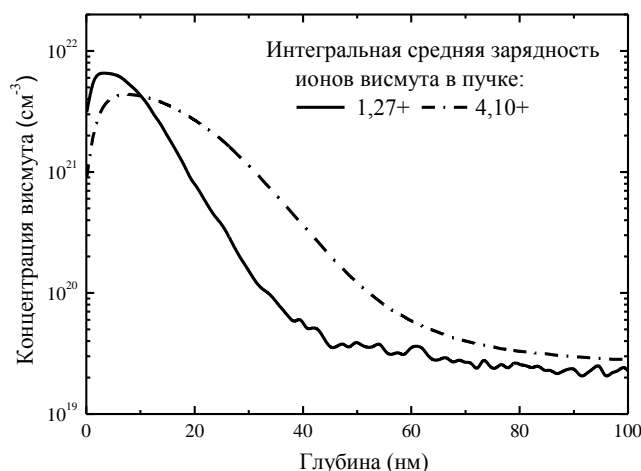


рис.1. Профиль распределения по глубине висмута, имплантированного в молибденовые образцы, в случае генерации пучков ионов висмута с различными зарядовыми состояниями. Имплантированная доза ионов висмута -  $1 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>, ускоряющее напряжение - 40 кВ.

Вторым режимом была высокозарядная ионная имплантация при сильноточном режиме горения разряда в импульсах длительностью единицы микросекунд [4]. Амплитуде импульса тока дуги была 3 кА, а длительности импульса (ширина на полувысоте) - 4 мкс [5]. Максимальная зарядность ионов висмута в этом случае составляла 12+ [6], однако зарядовый состав пучка сильно изменялся в зависимости от времени после начала импульса. Можно было выделить две фазы импульса тока ионного пучка с различными зарядовыми состояниями ионов [5]. В первой, начальной фазе, зарядовые состояния ионов висмута в пучке были от 6+ до 12+. Вторая фаза, «хвост» относительно низкозарядных ионов с зарядностью от 5+ до 1+, длящийся несколько десятков микросекунд после окончания тока разряда. Этот «хвост» был образован за счет эмиссии ионов из остывающей и распадающейся плазмы разряда, после окончания импульса тока дуги. Таким образом, интегральная средняя зарядность ионного пучка составила 4,10+, а средняя энергия ионов висмута в пучке около 160 кэВ. При этом разброс энергий ионов в импульсе пучка находился в пределах от 40 до 480 кэВ, соответствующих минимальному (+1) и максимальному (+12) зарядовому состоянию ионов висмута.

Полученные профили распределения по глубине висмута, имплантированного в молибденовые образцы, для обычной и высокозарядной имплантации, приведены на рис. 1. Из представленных зависимостей следует,

что глубина внедрения ионов при высокозарядной имплантации существенно больше. Кратность смещения максимумов профилей распределения ионов висмута приблизительно соответствует теоретическим представлениям об увеличении глубины проникновения ионов при увеличении их энергии. Таким образом, с помощью независимого метода было подтверждено увеличение энергии ионов в пучке в случае короткого сильноточного импульса разряда в вакуумных дуговых источниках, без соответствующего увеличения ускоряющего напряжения. Пучки многозарядных ионов могут найти применение для широкого круга задач модификации поверхности.

Список публикаций:

- [1] Nikolaev A.G., Oks E.M., Savkin K.P., Yushkov G.Yu., Brown I.G. // *RSI*. 2012. V. 83, No. 2, 02A501.  
 [2] Bugaev A.S., Vizir A.V., Gushenets V.I., Nikolaev A.G., Oks E.M., Yushkov G.Yu., Burachevsky Yu.A., Burdovitsin V.A., Osipov I.V., Rempe N.G. // *Laser and Particle Beams*. 2003. V. 21. № 2. P. 139-156.  
 [3] Gushenets V.I., Oks E.M., Yushkov G.Yu., Rempe N.G. // *Laser and Particle Beams*. 2003. V. 21. № 2. P. 123-138.  
 [4] Yushkov G.Yu., Anders A. // *Applied Physics Letters*. 2008. V. 92. No 4., 041502.  
 [5] Yushkov G.Yu., Frolova V.P., Nikolaev A.G., Oks E.M. // *IEEE TPS*. 2019. V. 47. No. 8. P. 3586-3589.  
 [6] Yushkov G.Y., Frolova V.P., Nikolaev A.G., Oks E.M., Anders A., Vodopyanov A.V. // *IEEE TPS*. 2015. V. 43. No 8. P. 2310-2317.

## Высокочастотная импульсно-периодическая накачка газоразрядных ламп низкого давления в газе на Ne

**Хусаинова Юлия Альбертовна**

*Башкирский государственный университет*

*Вальшин Алыс Мустафович*

*yuliya.husainova25@mail.ru*

Актуальной проблемой современной светотехники, возникающей при использовании источников света высокой интенсивности, являются низкий ресурс работы мощных ламп, а также создание экологически чистых, безртутных источников света. Эффективным способом решения проблемы становится переход к принципиально новой, безэлектродной технологии генерации газового разряда.

В нашей работе [1] показаны результаты исследований режима безэлектродной высокочастотной индукционной накачки стандартных цилиндрических люминесцентных ламп путем намотки на лампу определенного количества витков. Выявлен эффективный ввод энергии в плазму разряда и повышение КПД светоотдачи. Обсуждается физика обнаруженного явления и область применения энергосберегающей технологии безэлектродной накачки люминесцентных ламп с повышенным ресурсом работы.

В данной работе описаны экспериментальные исследования индукционного высокочастотного разряда в газоразрядной плазме низкого давления на инертном газе Ne. В процессе эксперимента использовали высокочастотный генератор перестраиваемой частоты собственной разработки и три кварцевые трубки, наполненные Ne, диаметром 68 мм и высотой 38 мм, 38 мм и 80 мм при разных давлениях- 0,3 и 1 Торр. Частота перестройки составляла от 1 МГц до 7,7 МГц, стабильность частоты около 0,3%. Выходное сопротивление составляло менее 5 Ом. Ввиду малости выходного сопротивления нет необходимости в использовании согласующего устройства, поэтому выход непосредственно соединен в последовательный колебательный контур. В качестве индуктивности используется индуктор, который представляет собой соленоид, намотанный на трубку, наполненную инертным газом Ne, а в качестве емкости используются высокочастотные высоковольтные керамические конденсаторы.

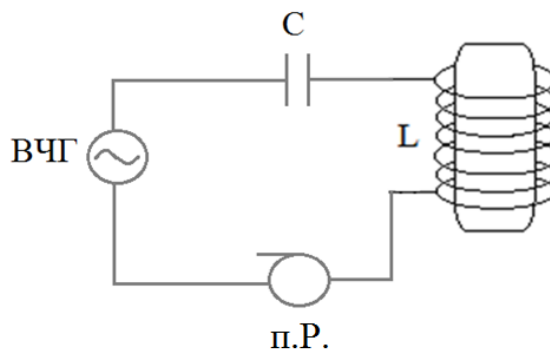


рис.1. Схема экспериментальной установки  
 ВЧГ - высокочастотный генератор, п.Р. - пояс Роговского